



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

基于工业机器人电动执行器装配单元控制系统设计  
Control System Design Based on Assembly Unit of  
Industrial Robot Electric Actuator

姓 名 赵一达

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 赵相宾

职 称 教授

完成时间 2021.06.04



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

基于工业机器人电动执行器装配单元控制系统设计

姓 名 赵一达

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 赵相宾

职 称 教授

完成时间 2021.06.04

**天津中德应用技术大学**  
**本科生毕业设计（论文）的声明**

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

## 摘 要

进入 21 世纪近 20 年来，全球资源和生态环境面临着日益严峻的挑战，以资源要素为主导的产业发展道路已经不可持续，工业自动化制造业开始发挥重要作用，本文基于工业机器人电动执行器装配单元为研究对象，针对硬件各自特点提出不同的通讯方案，实现装配单元整体控制，并对该系统进行了一系列联合调试。

一、按照电动执行器装配方案，完成系统网络搭建系统集成，以 ABB 工业机器人、西门子 1200PLC、信捷智能相机、HMI 人机交互界面为研究对象，简单阐述了主要硬件的参数和接线方法。

二、分析了装配系统功能所需要在软件上的设置和程序流程，机器人控制程序完成工件的抓取和装配；PLC 控制程序完成数据处理、引导机器人装配步骤；智能相机控制程序完成工件坐标信息采集；HMI 完成系统各模块的功能控制，通过 Profinet 和 Modbus 协议通讯把实时数据都互相传送交互。

三、对机器人自动装配单元进行功能测试和联合调试，每个硬件参数和配置进行验证和修改，保证系统联合调试稳定运行，控制机器人完取工件，装配工件，放工件等操作流程。

**关键词：**机器人装配系统；机器人；PLC；智能相机；程序设计

## ABSTRACT

In the past 20 years in the 21st century, the global resources and ecological environment is facing increasingly severe challenges, with resources as the leading industry development path is unsustainable, began to play an important role in industrial automation manufacturing, based on the industrial robot electric actuator assembly unit as the research object, to the hardware characteristics of different communication solutions, The whole control of assembly unit is realized, and a series of joint debugging of the system is carried out.

Step one, according to the assembly scheme of the electric actuator, the system network construction and system integration are completed. Taking ABB industrial robot, Siemens 1200PLC, XJ intelligent camera and HMI human-computer interaction interface as the research objects, the main hardware parameters and wiring method are simply described.

Step two, analysis the function of assembly system need set in software and the program flow, workpiece fetching and assembly robot control process is complete, the PLC control program to complete the data processing, to guide the robot assembly steps, intelligent camera control program to complete the workpiece coordinate information acquisition, HMI to complete the function of each module system control, Through PROFINET and MODBUS protocol communication, real-time data are exchanged.

Step three, Carry out functional testing and joint debugging for the robot automatic assembly unit, verify and modify each hardware parameter and configuration, ensure the stable operation of the system joint debugging, and control the robot to complete the operation process of fetching, assembling and releasing workpieces.

**Key words:** Robot assembly system; Robot; PLC; Smart camer;

The program design

# 目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究课题背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.2.1 机器人装配技术国外现状.....	1
1.2.2 机器人装配技术国内现状.....	2
1.3 本课题研究目的及意义.....	3
1.4 本文主要贡献及结构安排.....	3
第二章 机器人装配方案设计.....	4
2.1 自动装配平台总体简介.....	4
2.2 自动装配系统设计.....	4
2.3 电动执行器装配工艺设计.....	5
2.4 电动执行器装配方案设计.....	6
第三章 机器人装配系统硬件设计.....	8
3.1 自动装配平台硬件架构.....	8
3.1.1 ABB 机器人实体.....	8
3.1.2 机器人控制柜.....	9
3.1.3 西门子 S7-1200 PLC.....	10
3.2 装配辅助器件.....	11
3.3 自动装配系统电路设计.....	12
3.3.1 机器人控制柜供电接线.....	12
3.3.2 PLC 供电接线.....	14
第四章 机器人装配系统软件设计.....	16
4.1 装配系统组态和通讯.....	16
4.1.1 PLC 硬件通讯组态.....	16
4.1.2 机器人通讯组态.....	18
4.1.3 视觉通讯设置.....	19
4.2 控制程序设计.....	20
4.2.1 PLC 程序设计.....	20

4.2.2 机器人程序设计.....	22
4.3 HMI 人机界面设计.....	23
4.4 装配系统联合调试.....	24
第五章 总结与展望.....	25
参考文献.....	26
致谢.....	27

# 第一章 绪论

## 1.1 研究课题背景

随着经济全球化的进程不断加快,人工劳动力成本逐年增加,人口红利对产业发展的推动作用也明显减弱。与此同时,全球产业合作已进入新一轮的分工调整,新兴技术加速整合和开发,目前,全球一半以上的机器人装配技术来自制造产业,工业机器人装配的研发在某种程度上解放了劳动力,可以模仿人类,提高工作效率,降低生产成本<sup>[1]</sup>,促进高科技工业的延伸和发展,作为智能制造中最具代表性的产品,工业机器人替代人也将成为发展趋势。

## 1.2 国内外研究现状

装配自动化是制造业中最重要的一环,随着世界制造业技术不断更新,各种新的科学技术不断涌现,工业机器人技术发展也不断提高。而自动装配生产线是利用现代生产技术,从传统人工劳动到工业机器人装配发生的变化,在输送系统与装配设备的配合下,进行产品的批量生产组装、检查、标记、包装等工序,工业机器人装配也成为制造业的重要部分。

### 1.2.1 机器人装配技术国外现状

国外工业机器人的研究从六十年代投入应用至今已有二十年左右的历史。在工业机器人逐渐得到推广和普及的过程中,机器人装配技术被公认为是 20 世纪最伟大的革新之一。它对未来世界工业发展的影响非常大,以至于那些没有使用它的公司很快就被取代了,而这也是帮助汽车快速融入社会的主要原因之一。在 1950 年到 1960 年代,制造产业的工程师们都将机械手臂作为发展的一种手段进行探索。

如今,机器人装配技术已经进入了一个全新的高度。像 ABB、KUKA、YASKAWA、FANUC 这些外国公司正在努力开发可以与人类一起工作的自适应制造机器人,这将有助于提高效率和生产率。特别是在汽车工业中,机器人已经逐渐取代人工操作。

目前在美国特斯拉超级工厂内机器人是装配生产线的重要力量,机器人的每一步都必须分毫不差,否则将导致整个生产停止进行,据报道,一年半的时间特斯拉团队就花在对机器人进行初步培训上。机器人装配中心,除了安装车门,车顶,还会在正上方照一张车顶照片,通过测量天窗的精确位置,再将玻璃粘在上面。这使得精密装配成为可能,增加了生产灵活性,提高了生产效率和精度,同时显著降低了成本<sup>[2]</sup>,代表着从传统装配技术向完全智能化系统的飞跃。



图 1-1 特斯拉超级工厂图

### 1.2.2 机器人装配技术国内现状

相对于国外的机器人装配技术，我国起步比较晚，但是在国家的支持和在市场需求的带动下，机器人的智能化水平正在逐渐提高，同时，国内市场加快核心技术的自主研发，在核心零部件上实现了一定的技术突破<sup>[3]</sup>。但总的来说，中国的工业机器人装配技术及其在工业和制造业的应用水平与国外仍有一定差距，首要任务是解决工业化初期的关键技术，对工业产品进行系统设计，完成系列化、通用化和人性化设计，积极推进工业化进程。

目前中国还是具有很强的后发优势，有很多的追赶空间，比如泉州华宝科技公司与华数机器人公司的研究合作，以工业机器人自动化线应用为目标，以智能云平台为产业出奇制胜的武器<sup>[4]</sup>，共建休闲鞋智能化装配生产线，在机器人技术、核心零部件和云服务等多方面实现重大技术革新，并成功开发出国产智能装备、国产机器人。作为国内制鞋行业首个信息化管理系统，主要采用了华数机器人、机器视觉、传感器、PLC 等控制技术，加入数字化、智能化柔性生产线，实现生产过程数据的采集、映射及工艺参数分析。将制鞋成型过程中的数据进行互联互通，完成从订单承接到产品交付及售后服务全过程的智能化控制。



图 1-2 华数机器人智能装配图

### 1.3 本课题研究目的及意义

现阶段机器人控制技术主要采用传统的固定方式，要求预置位置和动作不断重复，工件必须固定在指定加工区域内的位置，因为不知道材料的尺寸和位置，即使是一点点的误差也有可能致导致组装失败<sup>[5]</sup>，因此，机器人装配技术受到严重限制。为解决传统装配方法效率低、柔性装配难以定位等问题，提出了一种基于工业机器人的高装配要求、小批量曲面类零件的装配方法。在复杂的情况下，通过智能相机视觉将物体识别处理，判断物体的位置和大小，它们可以在不需要人工干预的情况下，自动调整机器人的运动位置和环境反馈。除了机械手需要知道物料的位置外，还需要知道所抓物体的姿态，因此，在这种情况下借助摄像对周围环境进行捕捉，然后引导机器人进行装配动作，可以大大提高生产线的灵活性，因此，机器人装配技术在未来制造业中的应用非常广泛。

### 1.4 本文主要贡献及结构安排

本课题重点围绕六自由度工业机器人进行电缸执行器装配的设计和验证，利用多种传感器以及工业视觉辅助的柔性自动化系统，为了保证该系统适用性可以应用于工业中，最终选用了以机器人为核心的智能装配站，基于该站开发机器人电动执行器自动装配系统研发，课题主要进行的工作结构如下：

第一章简要阐述了电动执行器自动装配系统的背景及来源，并对自动装配技术国内外现状进行了回顾，主要是从基于工业机器人自动装配方面来介绍。

第二章提出了机器人装配平台的总体的设计方案，对机器人装配和工艺进行规划以及电动执行器装配方案的分析。

第三章介绍了机器人自动装配平台的关键硬件技术，包括 ABB 机器人、西门子 PLC、信捷工业智能相机和人机交互界面之间等部分的交互情况，机器人运动的实现等。通过以太网 Modbus/TCP 协议通讯与设备之间搭建出一个自动化装配系统。

第四章是对自动装配系统中的软件开发、编程组态和调试进行介绍。主要描述了机器人与智能相机之间的坐标变换，各模块软件的具体流程设计，硬件调试和电动执行器装配系统整体联调功能论述。

第五章是对论文最后进行总结归纳。

## 第二章 机器人装配方案设计

### 2.1 自动装配平台总体简介

本课题的电动执行器装配平台只是总生产平台的一个柔性装配单元，前有供料单元，后有检测、打包单元等，其中装配单元在整个生产中对工艺要求很高。每个单元的单独设计可以实现平台灵活的合并和调整，装配单元平台总体分可分为三部分：待装配零件位、成品装配位、辅助检测机构，考虑到系统应具备操作方便、反应灵活、安全稳定等标准，所以采用了基于 ABB 六自由度工业机器人、辅助控制柜、智能工业视觉相机为基础搭建该装配系统，平台通过开放式工业以太网、工业交换机通讯组网，可以通过不同技术思路自由开发各类控制任务。

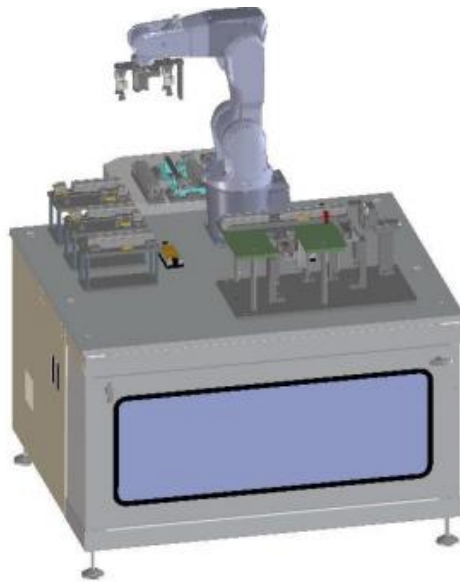


图 2-1 电动执行器装配平台整体图

### 2.2 自动装配系统设计

装配是整个生产系统的重要组成部分，也是机械制造过程的主要部分。装配过程的自动化是现代工业生产中必须解决的重要问题<sup>[6]</sup>。现代自动装配技术通过多传感器协助机器人自动装配系统方案，可以有效减少装配系统的误差。

根据课题要求，完成基于机器人的电动执行器装配设计集成系统，由计算机、PLC 和机器人控制器组成控制层硬件，控制软件是由 PLC 软件和机器人控制软件组成，两者信息数据相互交换共同传送到上位计算机上，PLC 协同工业机器人完成装配运动。辅助装配通过视觉系统和图象学习软件，精确地获得待装配工件的位置坐标，并将其发送给机器人控制器，控制器引导机器人完成一次装配，在工件随后发生移动时，视觉系统无需人

工干预即可自动获得其位置<sup>[7]</sup>。视觉引导技术可以帮助工业机器人完成高灵活性、高智能的生产工作，促进工业机器人装配技术的发展，具体方案如下图 2-2。

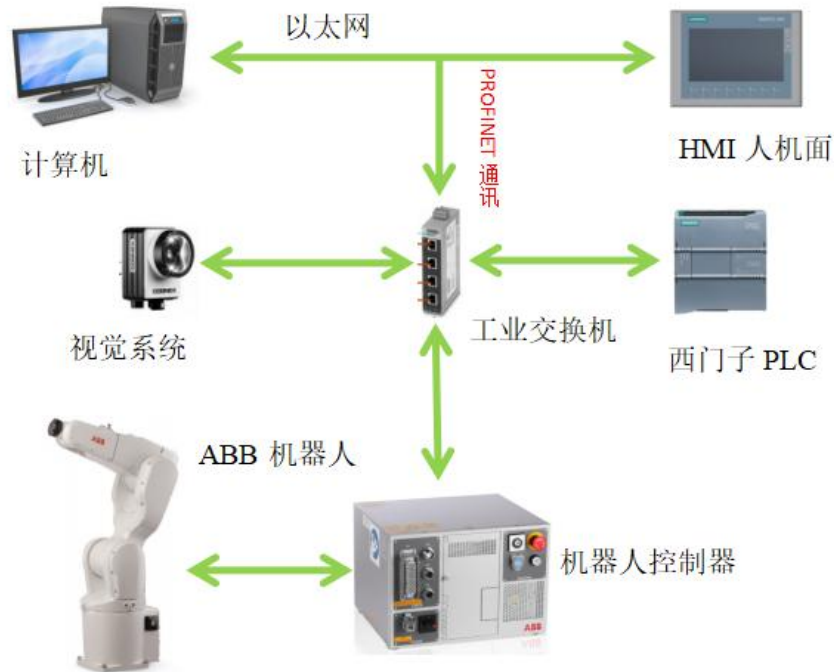


图 2-2 电动执行器装配系统设计图

### 2.3 电动执行器装配工艺设计

从第一代开发的简单滚珠执行器开始到现在，执行器已经应用于各种类型的设备，可以实现自动化的辅助传动，代替在危险情况下工作的工人，提供远程操作或减轻繁琐单调的手工作业。在多个设备许可的应用中，执行器比机械系统和油压系统更好，它们具有自支撑性、坚固耐用的特点，非常适用于对任何负载进行提、降、推、拉、旋转、定位等任何负载，而且电动执行部件的成本比同等功能的液压和气动系统性价比更高，当然，电动执行器前期也需要各种零件组装。

电动执行器的装配步骤主要由五大部分组成：

(1) 由轴头螺纹连接筒型推杆，再由筒型推杆螺纹连接筒型推杆连接件组成的整体为第一大部分。

(2) 将第一大部分压入缸体的装配为第二大部分。

(3) 将滚珠丝杆装配到筒型推杆里并用螺丝将丝杆螺母锁紧在筒型推杆连接件上此装配步骤为第三大部分。

(4) 将上端盖压入滚珠丝杆轴承端并在末端加进轴承挡圈后用轴承锁紧螺母锁紧，随后将整体的上端盖压进缸体用内六角螺丝锁紧，此装配步骤为第四大部分。

(5) 将下端盖压进缸体用内六角螺丝锁紧，此装配步骤为第五大部分。

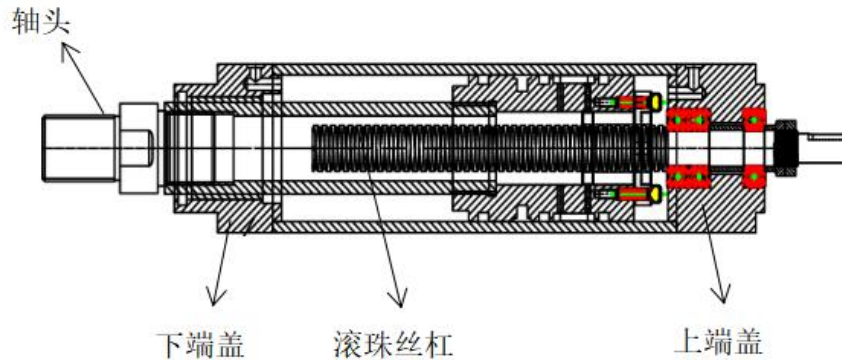


图 2-3 电动执行器组成图

## 2.4 电动执行器装配方案设计

电动执行器装配平台主要设计有：AGV 自动寻迹小车接收区、原料缓存区、半成品装配区、成品库缓存区、ABB 机器人工作区、安全防护区。

本课题按照装配单元部件的最低一级的单位为基准组装零件，半成品组装最先进入装配区，然后根据电动执行器具体结构情况和组装技术条件为基础，考虑其它零件装入的先后顺序。装配基本规律为：先下后上，先内后外，先难后易，先重大后轻小，先精密后一般。这有助于确保装配的质量，以及产品最终的寿命<sup>[8]</sup>。

原材料供送主要是通过 AGV 小车中转运送到装配单元，根据系统发出指令，AGV 从原料供送单元取到装配零件，当 AGV 小车到达装配接收区，机器人带着相机对小车上托盘进行确认位置，确认后机器人才可以从托盘抓取材料到原料缓存工作。

原料缓存区是零件刚接收到，暂时存放的区域，按照当前设计电动执行器分为 3 部分，所以每个缓存工位有 3 个小存放位同时工位装有 6 个对射传感器，用来检测零件是否在位，实际生产中可根据情况设置多个存放位。

半成品装配区整个装配最关键的一步，主要是通过传感器检测和气缸来固定装配零件，保证物料在装配过程中稳定牢固，如图 2-4（B1 为传感器、Z1-Z7 为气缸）接着按照工艺流程依次通过机器人抓取到装配工位辅助装配，

运行步骤：

- (1) 物料到达工位，传感器发出信号。
- (2) 气缸得气固定第一级物料，Z1 到前进位、Z2 在下降位、Z3 到前进位、Z4 关闭。
- (3) 固定第二级物料，Z5 在下降位、Z6 在下降位，这时可以通过机器人把缸体轻轻推入一级物料。
- (4) 上面步骤完成后，Z7 到后退位，机器人完成最后一步轴头装配。

成品缓存区是装配区组装好的产品通过机器人抓取到该工位,假如后面单元需要包装或检测,机器人就会把成品位的产品送到下一个环节,标志着装配单元已经完成装配。机器人工作区和安全防护区是相互联系的,安全防护系统在机器人工作的时候安全门是打不开的,只有在急停或者机器人停止运行,操作人员需要调试时才能打开。机器人法兰盘末端加有防碰撞装置,一旦末端压力过大设备会立即断电强制停止工作,保护设备和机器人免遭意外强烈碰撞。

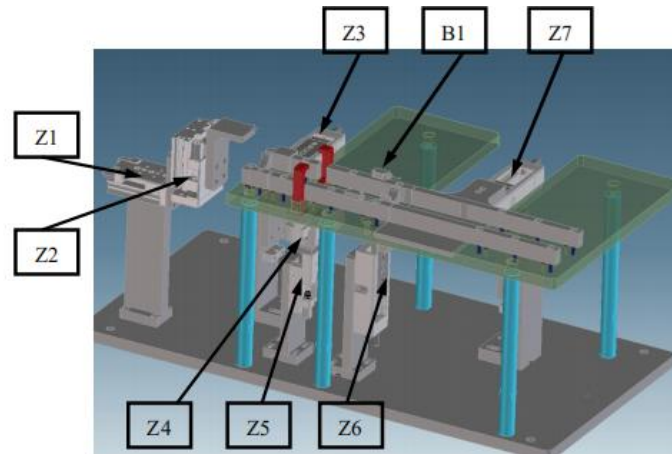


图 2-4 成品装配图

本章对机器人装配方案进行了相关阐述,具体分装配平台介绍、装配系统的规划、电动执行器工艺要求和方案设计等。同时分析了机器人与 PLC 基础数据交互,最后对本装配平台方案设计的每个功能需求进行了研究。

## 第三章 机器人装配系统硬件设计

### 3.1 自动装配平台硬件架构

根据本系统设计思路，装配平台的硬件集成主要包括：ABB IRB-1200 六自由度工业机器人、西门子 S7-1200 PLC、控制柜、智能工业相机及其它硬件组成等。

#### 3.1.1 ABB 机器人实体

考虑到平台组装的零件尺寸小、工艺精密，以及后续产线柔性升级灵活的原因，本课程装配系统将选用由 ABB 公司研发的 IRB-1200 中小型六自由度工业机器人，这个系列的机器人在保持灵活优势的同时，也满足了材料处理和装卸行业的合规需求，使用方便、易用紧凑。ABB IRB-1200 机器人内置 4 个气管，10 路用户信号线和以太网线，设计中充分考虑了方便集成的特点。举例来说，电路和气体通道都可以通过侧门或者机器人的底部连接，以太网口的预先设置使机器人能够与其他设备集成。整条线路从腕部到基部，都连接在机器人内部，使得系统结构更加紧凑，如下图 3-1。

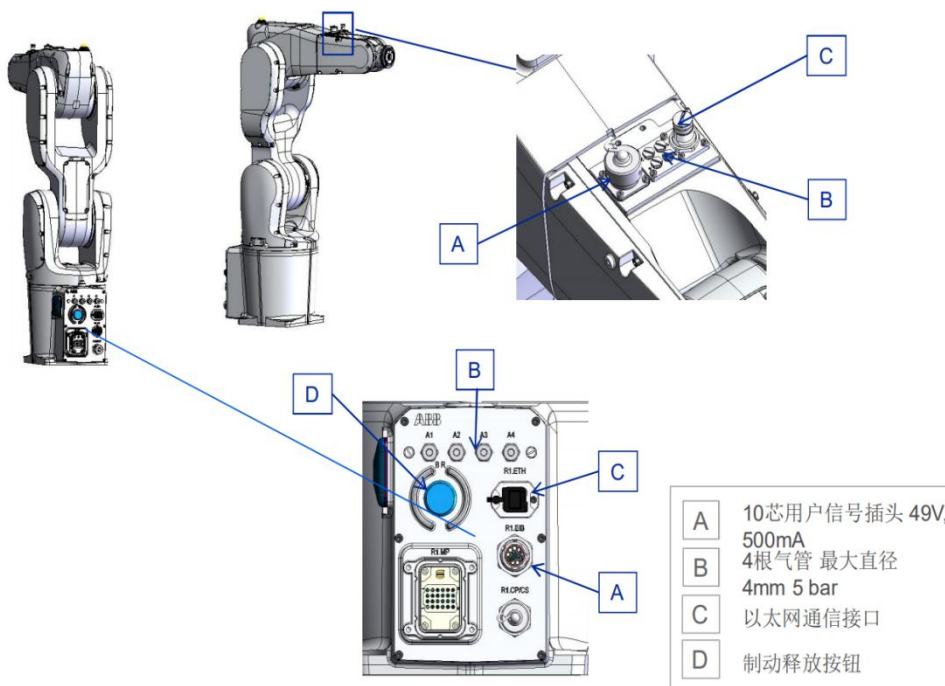


图 3-1 IRB-1200 机器人本体介绍图

IRB-1200 型机器人具体参数如下表 3-1 所示。

表 3-1 IRB-1200 机器人参数

轴运动	工作范围	最大速度
轴 1 旋转	+170°至-170°	288°/s
轴 2 手臂	+135°至-100°	240°/s
轴 3 手臂	+70° 至-200°	300°/s
轴 4 手腕	+270°至-270°	400°/s
轴 5 弯曲	+130°至-130°	405°/s
轴 6 翻转	+360°至-360°	600°/s
<b>性能</b>	<b>IRB-1200</b>	
TCP 最大速度	7.3 m/s	
TCP 最大加速度	35 m/s*s	
加速时间 0-1M/S	0.06s	
电源电压	200-600 V, 50-60 Hz	
变压器额定功率	4.5 KVA	
功耗	0.39 kW	
底座尺寸	210mm*210mm	
重量	52 KG	

### 3.1.2 机器人控制柜

机器人控制柜主要是配合机器人完成一些动作，使用示教器发出指令，通过控制柜运算发送给机器人，控制柜相当于机器人的大脑<sup>[9]</sup>。为了节省装配平台空间，本次选用了 IRC5C 控制柜来和控制机器人，该控制柜体积比上一代缩小了 25%，结构紧凑，节省空间，单相 220/380V，内置 16 个输入和 16 个输出，其外形如下图 3-2。



图 3-2 IRC5C 机器人控制柜图

从外观看控制柜柜体上集成了开关按钮、信号接口、交换机接口、示教器接口、电

源接口等可以实现多种协议通讯。控制器内部设置有驱动器、主机 CPU、I/O 模块、交直流电源、存储器等,如图 3-3。

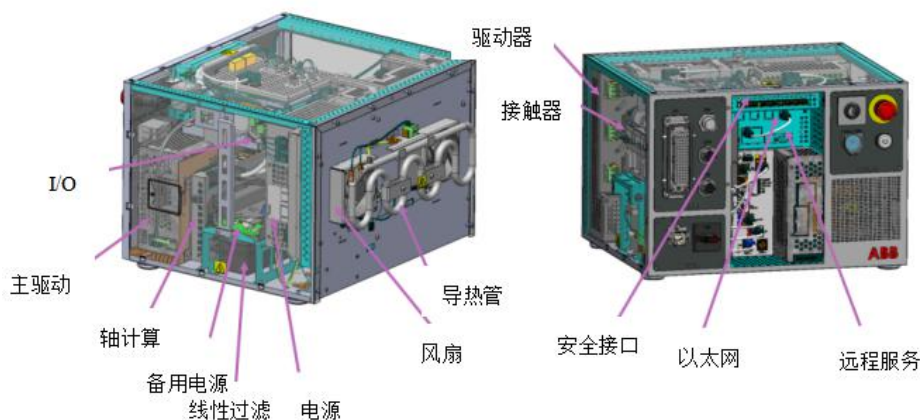


图 3-3 IRC5C 控制柜介绍图

### 3.1.3 西门子 S7-1200 PLC

结合实验条件，本装配平台选用和机器人搭配的 PLC 为 SIEMENS S7-1200 ，通过 PLC 控制装配工位传感器和气缸，收集反馈信号计算出结果传给机器人、相机和人机交互界面，如图 3-4。

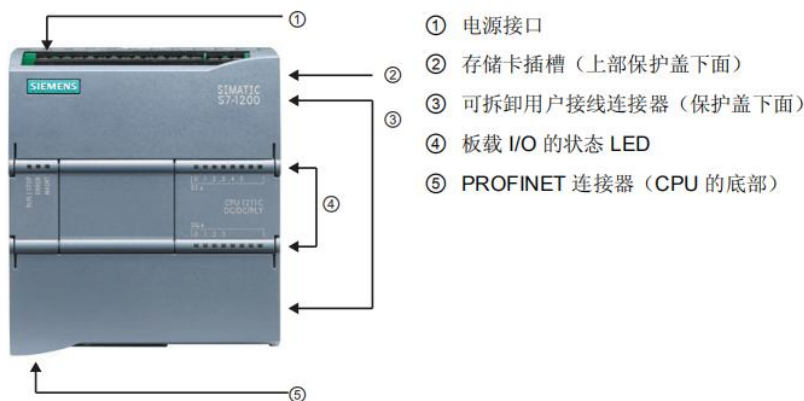


图 3-4 CPU 1214C

该 CPU 1214C 具有 14 点数字量输入 2 点模拟量输入和 10 点数字量输出，6 个高速计数器，50KB 工作存储区。可增添 3 个通讯模块、8 个拓展模块，内置 PROFINET 端口，支持 PROFIBUS 主从站通讯,RS485 和 RS232 通信模块为点到点的串行通讯提供连接<sup>[10]</sup>。

PLC 是通过循环扫描方式工作的，每个扫描过程都包括输入扫描、输出扫描、通信处理、执行用户程序指令以及后台处理<sup>[11]</sup>。在这 5 个阶段中，PLC 将一直以循环的方式扫描，这就是 PLC 的扫描周期和工作模式，PLC 工作模式如图 3-5。

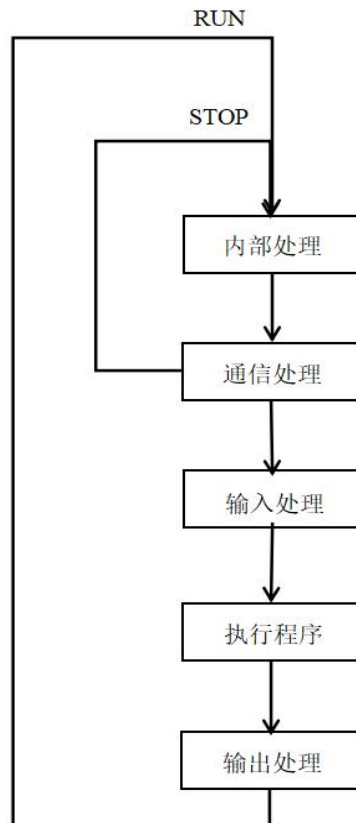


图 3-5 CPU 1214C 工作模式

## 3.2 装配辅助器件

### 1. 工业智能相机

为了机器人更精确的抓取物料，本次使用了有江苏无锡信捷公司推出的 X-SIGHT (SmartCam) 系列智能相机，它把图像数据实时采集、视觉过程处理和通讯信息集为一体，可以满足各领域的检测要求，如图 3-6。

智能化相机执行流程为拍照完毕后，首先运行引导 BOOTLOADER 程序、检查智能相机硬件通讯、系统程序代码以及执行固件升级等功能。在完成 BOOT 程序设计后，紧接着会运行系统 SYS 程序。相机在运行时有 4 种模式，即：采集模式、调试模式、运行模式、停止模式，如图 3-7。



图 3-6 信捷系列智能相机

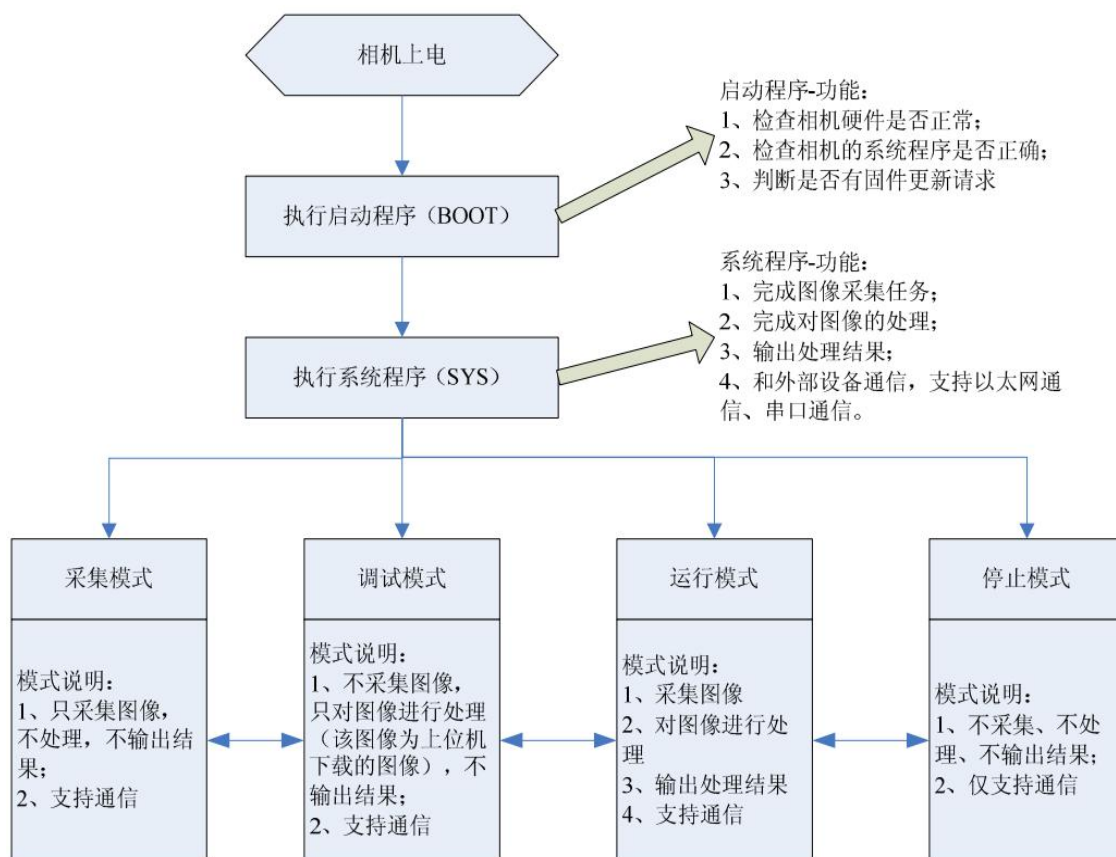


图 3-7 智能相机执行流程图

### 3.3 自动装配系统电路设计

这里主要介绍机器人控制柜供电及 I/O 接线和西门子 CPU 1214C 的供电接线和 I/O 接线，其中本自动装配平台主电路和各元器件接线设计会在附件里详细展示。

#### 3.3.1 机器人控制柜供电接线

ABB IRC5C 机器人控制柜不仅提供了丰富的通讯协议和强大的控制集成，还提供的很多有用的外设 I/O 接口，这些接口可以按自己的设计所需来完成通讯数据传送，以及机器人在简单操作的设备上不用配合下位机也可以通过 I/O 控制相对简单的传感器和气缸等元件。

控制柜前面板打开就会看到上面一排接口引脚和侧面一排接口引脚，刚开始是没接线的，需要操作人员阅读操作手册根据实际生产情况来连接引脚，避免接错引起不可挽回的机器故障，如下图 3-8 显示的接线引脚和表 3-2 I/O 配置说明。

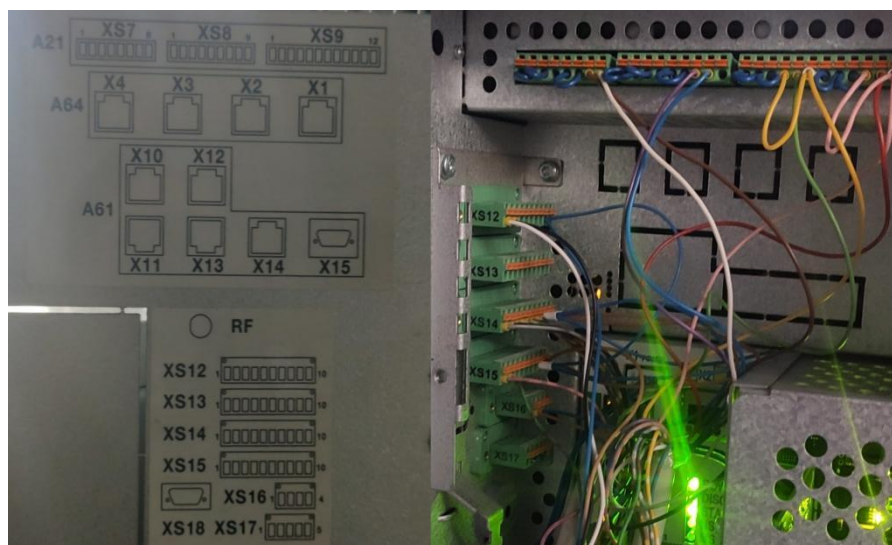


图 3-8 IRC5C 内部 I/O 接口

表 3-2 IRC5C 内部 I/O 配置说明

名称	信号类型	地址
XS0	220V 控制柜供电	
XS7	外部安全接口	
XS8	外部安全接口	
XS9	外部安全接口	
XS12	数字量输入	0-7
XS13	数字量输入	8-15
XS14	数字量输出	0-7
XS15	数字量输出	8-15
XS16	24V/0V 电源	
XS17	设备网外部接口	
XS18	设备网外部接口	

接下来介绍一下安全接口与外部接线、24V 电源接线和 I/O 接线。

(1) 安全接口与安全门、急停开关的接法如下图 3-9 说明图，XS7 上的引脚 1 和引脚 2 是一组形成回路，XS8 上的引脚 1 和 2 是一组形成回路<sup>[12]</sup>，两组接线形成双回线路和启动按钮、停止按钮串连在同一个控制回路中，这样遇到紧急情况按下急停或者打开安全门就会断开主回路接触器，做好安全防护。

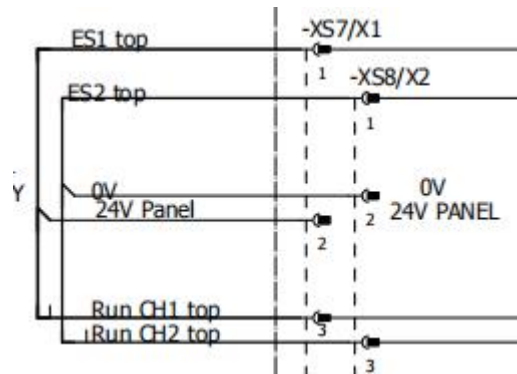


图 3-9 外部急停接线图

(2) 控制柜 I/O 接线，柜内配有两组输入 I/O，两组输出 I/O 共 4 组，4 组接线方法完全一样，对应好输入输出，需要的控制元件即可，如图 3-10,其中 9 脚接 0V、10 脚接 24V，也可以从 XS16 上接线供给 I/O 模块。

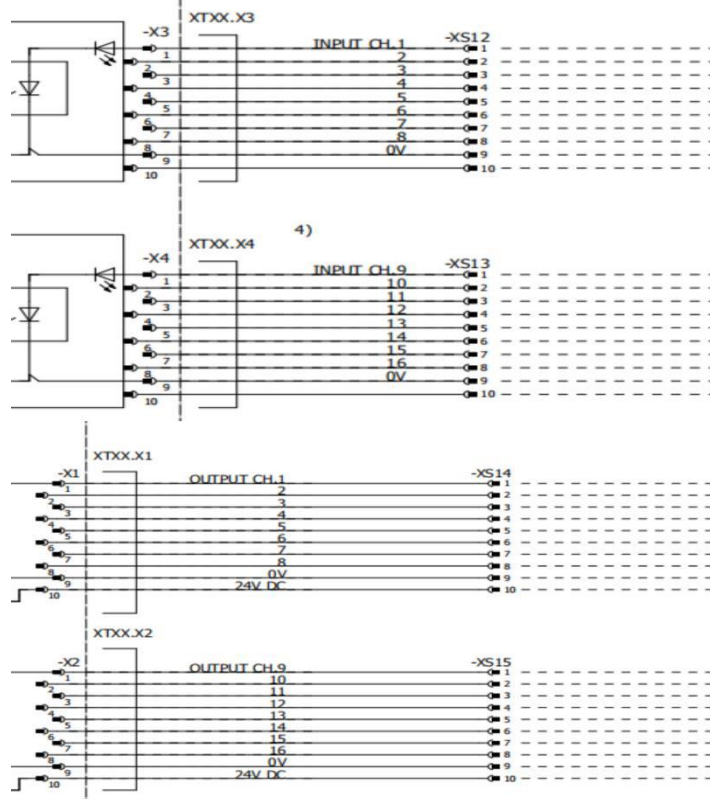


图 3-10 I/O 接线图

### 3.3.2 PLC 供电接线

CPU 1214C DC/DC/DC 由直流 24V 供电，该 CPU 电源 L 端接+24V、M 端为公共端、

接地线插入接地端、DI 为输入端、DQ 为输出端、AI 为模拟量输入端，接线端为螺丝固定接线，接完首先检查线的接触，如图 3-11。

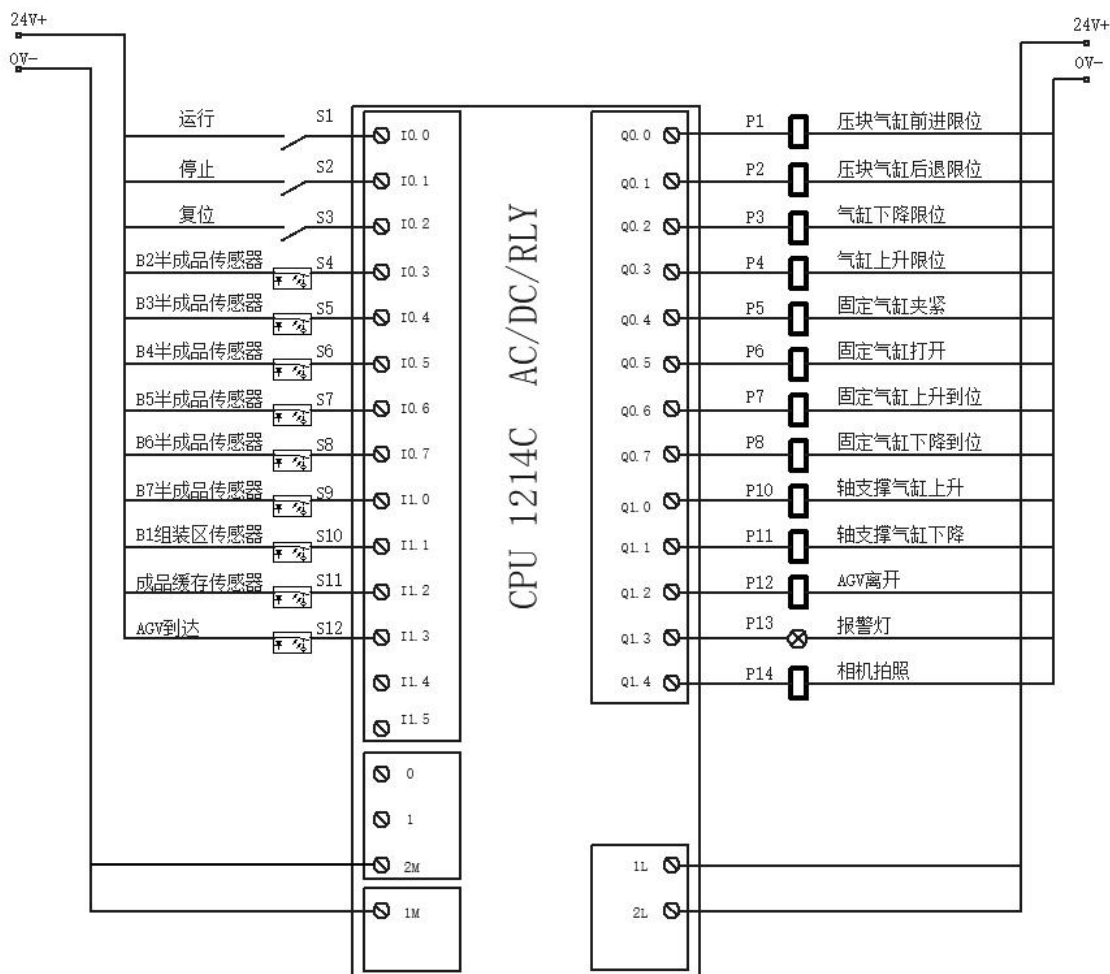


图 3-11 CPU 1214C 接线图

西门子 PLC 采用的是高电平有效，得电 1 时才会触发元器件，0 则没信号，这就在电路设计上考虑源型接法和漏型接法，以 CPU 中输入端 M 点作为参考。

输入端为源型输入，就需要把公共端 M 接入 24V，如 NPN 型输出传感器，信号输出为低电平，根据电路原理，当低电平输出信号输入到 PLC 输入端时，公共端 M 点必须接 24V，这时的接法应使用源型接法。

输入端为漏型输入，则需要把公共端 M 接入 0V，如 PNP 型输出传感器，信号输出为高电平，所以当低电平输出信号输入到 PLC 输入端时，公共端 M 点必须接 0V，这时的接法应使用漏型接法。

本章首先对装配平台主要设备硬件结构、工作原理及功能需求做了简单阐述，包括 ABB 机器人本体、IRC5C 控制柜、智能相机、西门子 S7-1200 PLC，最后展示和介绍了主要硬件的接线图和方法。

## 第四章 机器人装配系统软件设计

### 4.1 装配系统组态和通讯

机器人装配平台集成系统主要划分为三大部分：ABB 机器人控制部分、信捷智能视觉相机识别部分和西门子 PLC 控制部分，这三部分之间建立通讯连接来控制平台的运行。

ABB 机器人控制系统主要有运动控制程序部分和外界硬件通讯部分，软件采用 ABB 公司自己的 RobotStudio2021 版本的编程仿真软件，里面内置了虚拟控制器和实际控制柜运行一样，可以在线编程仿真，也可以离线编程仿真，同时用示教器也可以编程。西门子 S7-1200 PLC 控制系统由逻辑程序部分和外界硬件通讯部分，软件采用西门子公司开发的 TIA Portal V16 作为组态和编程，其软件为技术人员提供了很多便利，软件里面内带有多种软件，可以满足用户在不同自动化系统中的要求。信捷智能相机 X-SIGHT 控制系统主要是对物料区域、形状、进行处理，硬件对应的图像学习软件为信捷公司开发的 X-SIGHT STUDIO，软件可以自己编程，也可以通过软件自己学习生成信号和外部硬件进行通讯传输。

#### 4.1.1 PLC 硬件通讯组态

西门子 S7-1200 PLC 和其它不同硬件设备连接前，首先需要硬件配置和通信测试，这次使用的配置和编程软件是西门子 TIA portal V16 软件，TIA portal 被称为全集自动化软件，刚打开软件有两种不同的视图，分别为门户视图和项目视图。在项目窗口中点击添加设备，选择 PLC CPU-1214C 型号，在本系统中，西门子 PLC 和 ABB 机器人使用的是 PROFINET 总线，首先安装设备的 GSD 文件，这个文件一般是从 ABB 仿真软件的存储路径找到 GSDML 文件夹，依次打开选项、管理通用站描述文件，安装所需的 GSD 文件，如图 4-1。然后通过“硬件目录”把 ABB 机器人硬件组态到“网络视图”中，并设置 PROFINET 设备名称、IP 地址和机器人通讯长度 64 个字节。



图 4-1 通用描述文件添加

接下来是 PLC 和 HMI 人机交互界面的组态通讯，借助 TIA portal 软件来快速地完成任任务，在“硬件目录”中选择 KTP700 型号 HMI，添加到“网络视图中”与 PLC 连接即可实现自动分配地址和设备名称，整个过程非常简单方便，组态好之后，PLC 与 HMI 之间无需重新建立中间变量。当 HMI 上设置需要的变量时直接从 PLC 调用就行，还可以提前把需要的 PLC 变量一键同步到 HMI 变量表里，使用起来快速直观。硬件组态如图 4-2。

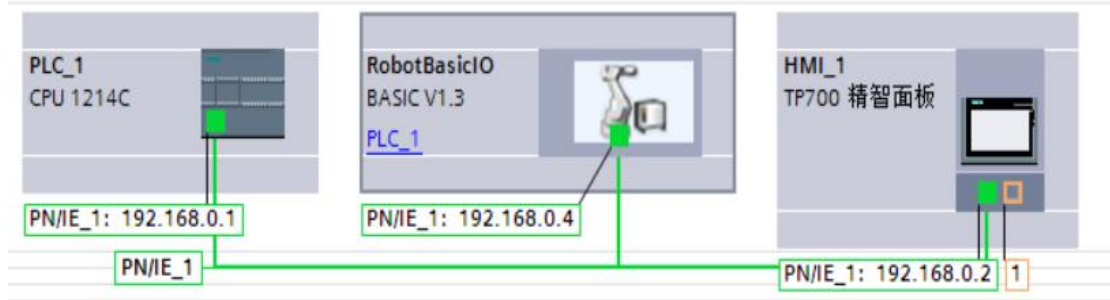


图 4-2 硬件组态图

X-SIGHT 智能相机的通讯方式时使用 Modbus TCP 客户端通过 PROFINET 连接进行通信。在整个过程中不需要追加硬件组态，通过“MB\_CLIENT”指令建立客户端与服务器的连接、发送 Modbus 请求、接收响应并控制 Modbus TCP 客户端的连接终端，如下图 4-3 所示。

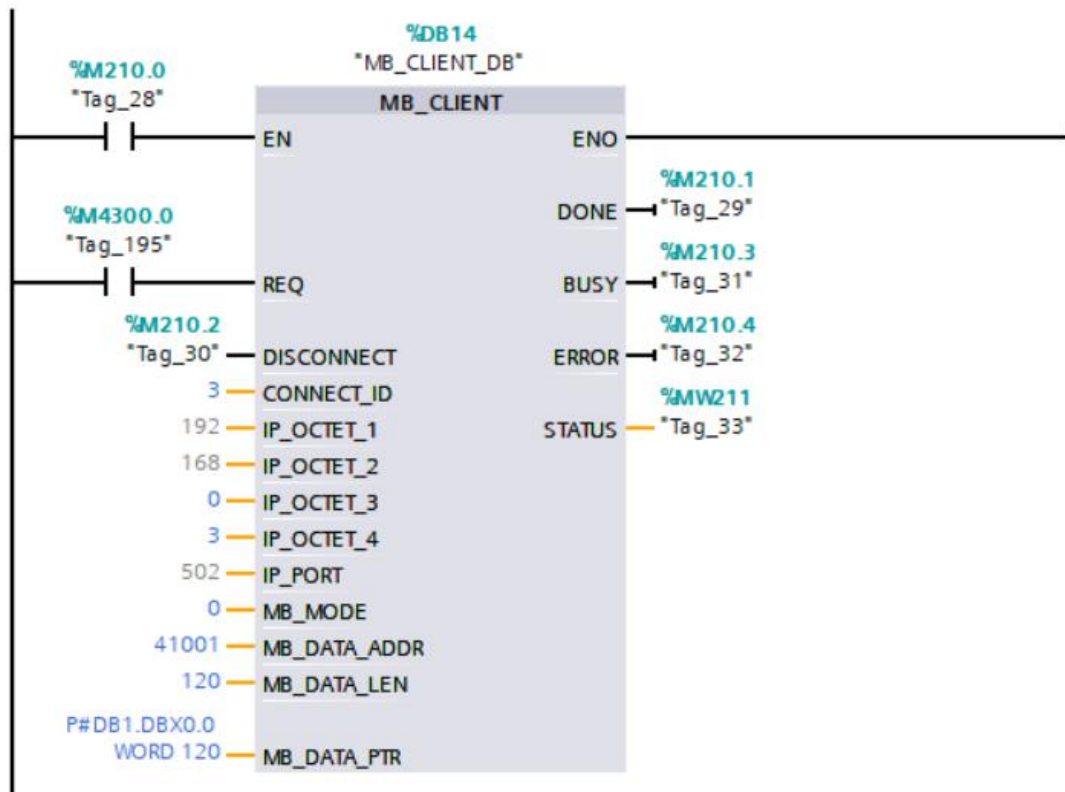


图 4-3 MB\_CLIENT 通讯图

如上图所示：AlwaysTRUE：总是置位为 1（1 即为通）

REQ:完成信号

DISCONNECT：断开

CONNECT\_ID:连接 ID

IP\_OCTET\_(1-4)为 IP 地址

MB\_MODE:读写模式（0 为读，1 为写）

MB\_DATA\_ADDR:数据地址

MB\_DATA\_LEN:数据个数

MB\_DATA\_PTR：数据长度

DONE:信号

STATUS:错误信号

#### 4.1.2 机器人通讯组态

ABB 工业机器人连接 PLC,可以用电脑通过以太网连接机器人控制柜在线操作通讯,前提是需要提前设置好 RobotStudio 软件,机器人状态也要切换到手动状态,然后在软件“控制器”中选择“一键连接”。除了在线连接还可以直接通过机器人示教器来操作通讯设置,操作方式和在线一样,只是免去了软件在线配置等各种步骤,将示教器“控制面板”打开,选择“配置”找到 PROFINET,根据 PLC 配置名称设定 ABB 机器人的设备名称,根据 PLC 配置数据长度设定 ABB 机器人的通信长度为 64,两个设备配置必须保持一致,如图 4-4。根据 PLC 配置设置的 IP 地址,机器人端也需要设置一致的 IP 地址,如图 4-5,最后机器人添加变量通讯测试,PLC 发送 QB100 数据,机器人 DI1 可以接收数据,同样机器人给 PLC 发送数据能接收到,证明 ABB 机器人与 S7-1200 之间通讯成功。



图 4-4 机器人通讯

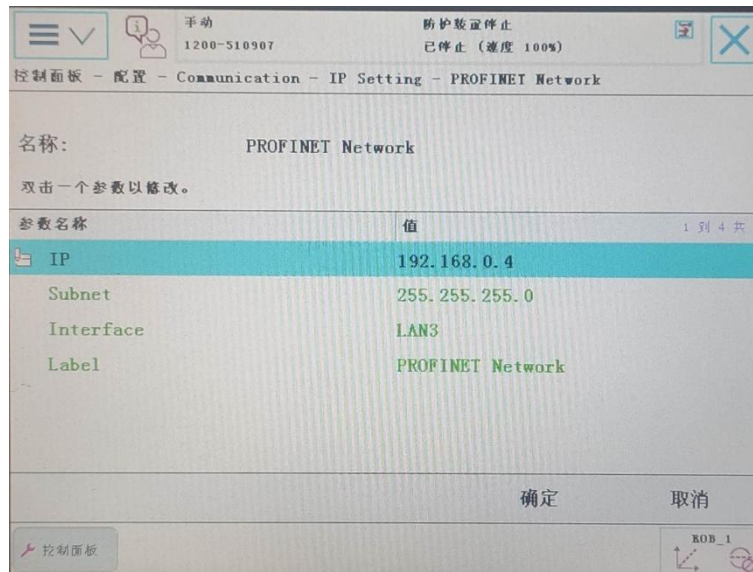


图 4-5 机器人 IP 地址图

### 4.1.3 视觉通讯设置

智能视觉检测系统利用相机对被检测的目标拍照,通过相机内置的专用图像处理系统将图像信号转换,然后采用 MODBUS 通讯协议的 RS-485 设备通信,通过以太网与支持 MODBUS—TCP 通讯协议的 PLC 或机器人控制器通信,对检测结果和检测数据进行传输<sup>[13]</sup>。首先打开 X-SIGHT 软件连接相机,弹出设置 IP 地址对话框,地址与 PLC 一致即可继续连接,然后点击“运行”和“显示图像”按钮就可以显示当前相机拍到的图像,如图 4-6,接下来还需要设置 MODBUS 配置变量和相机信号触发设为“外部触发”方式,如图 4-7。

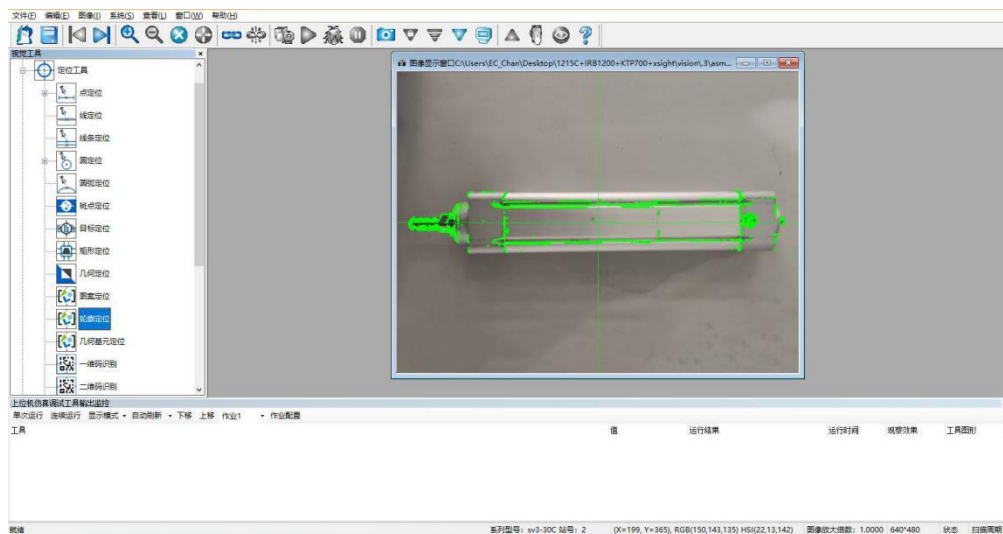


图 4-6 X-SIGHT 软件采集图



图 4-7 X-SIGHT 软件配置

最后是建立脚本程序，在工件图像学习完成后，都会建立一个脚本，脚本的作用是处理 MODBUS 变量信息，需要学习几种工件就建立几个脚本变量。

本次编程用到的 5 个脚本函数介绍如下：

```

tool1.Out.objectNum ; //寻找到目标的个数。
tool1.Out.centroidPoint; //坐标集合。
tool1.Out.centroidPoint[i].x; //目标中心点 X 轴坐标。
tool1.Out.centroidPoint[i].y; //目标中心点 Y 轴坐标。
tool1.Out.centroidPoint[i].angle; //目标中心角度偏移。

```

## 4.2 控制程序设计

程序设计整体思路是按照设备控制要求来编程，根据硬件型号、输出类型、电路要求对程序结构有大概轮廓，主要有两大部分：PLC 程序设计、机器人程序设计。

### 4.2.1 PLC 程序设计

西门子 PLC 主要以结构化编程为主，一般用 LAD 梯形图语言搭建程序，也可以自己制作 FB 块来构建模块调用，有的功能 LAD 语言实现不了还可以使用 SCL 语言来编程代替，具体用哪种语言要看实现功能情况。

设备启动后，PLC 接收到 AGV 小车到达信号，把启动数据传送给机器人，然后根据机器人装配步骤，设计分为物料到达程序、相机启动程序、成品装配程序，所有的程序块都会在主程序 OB 块中运行，这样在编程中更加直观，不容易出错，如图 4-8 程序设计架构。

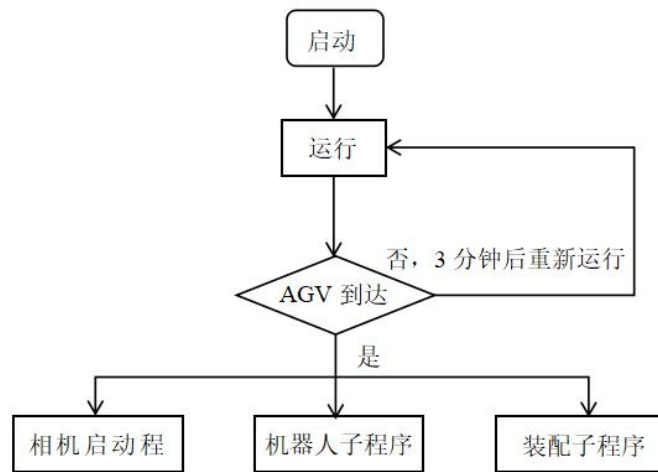


图 4-8 程序设计架构

(1) 相机子程序，当物料到达时，PLC 通过输出信号给相机外部触发启动拍照，并向机器人发送拍照的物料坐标，如果相机拍到空物料，视觉系统将会将信息传给 PLC 触发报警，此时需要人工检查没问题，清除报警才会继续，如图 4-9。

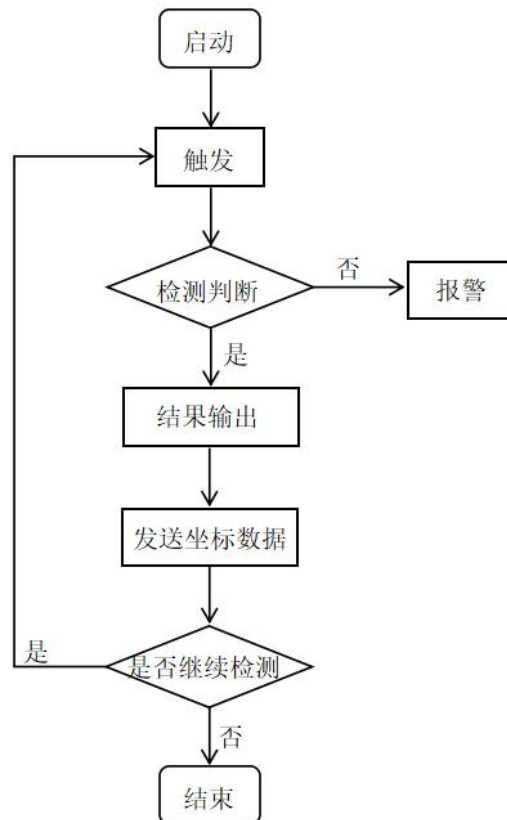


图 4-9 相机启动程序图

(2) 中转台和装配台子程序，中转台是待装配区，是物料送到后机器人抓取物料，按物料状态字来分别送到中转台暂时存放，准备后续的装配任务。如果中转台缺少某个物料未到，机器人将不会装配这个中转台的物品并报警。根据中转台传感器确认物料存在后，机器人将在装配台依次装配，否则机器人程序暂停，如图 4-10。

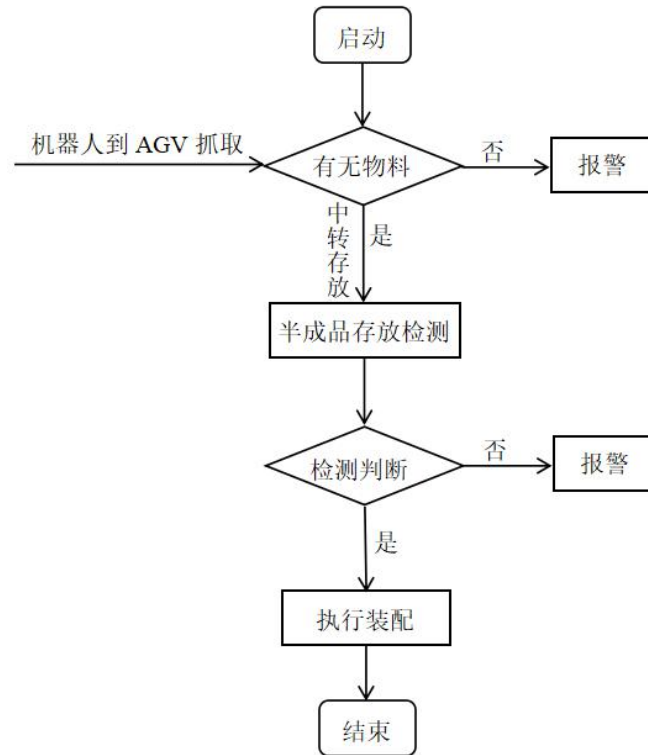


图 4-10 装配程序图

## 4.2.2 机器人程序设计

首次装配先通过示教器手动控制机器人建立坐标点，并保存运动位置，机器人装配过程中，辅助点位是不可缺少的，比如初始原点 P0 点，机器人在物料正上方等待装配点等等，完成示教编程调试后，需开启自动运行模式启动运行，系统执行初始化程序，动作回归机器人复位点（即工作初始状态位）。除了机器人本身位置姿态外，还有机器人臂末端手爪的编程调试，主要任务是取料、装配、放置，共同组成机器人装配系统运行。

ABB 机器人不仅支持 RAPID 语言还支持 SCRATCH 语言编程，这次调试主要运用了 RAPID 语言控制，该系统指令可完成对机器人的操作控制，设置输入输出信号，并可执行外部信号、重复其它指令，构建子程序等功能。如 TEST CASE 指令就可以帮助你调用想要实现这个功能的程序块，还有判断 IF TEST、循环 FOR AND WHILE、返回 RETURN、跳转 GOTO、停止 STOP 等等。RAPID 程序是由程序模块与系统模块组成。一个程序中只有一个主程序 main，它是整个执行程序起点，每一个程序包含了程序数据、例行程

序、中断程序和功能四种对象，程序模块的全局变量、局部变量可以相互调用<sup>[14]</sup>，还可以根据不同的用途创建多个程序模块，比如用于主控制的程序模块，用于位置计算的程序模块，用于存放数据的程序模块，这样便于归类管理程序与数据<sup>[15]</sup>。下面介绍一下机器人的运行程序，如图 4-11。

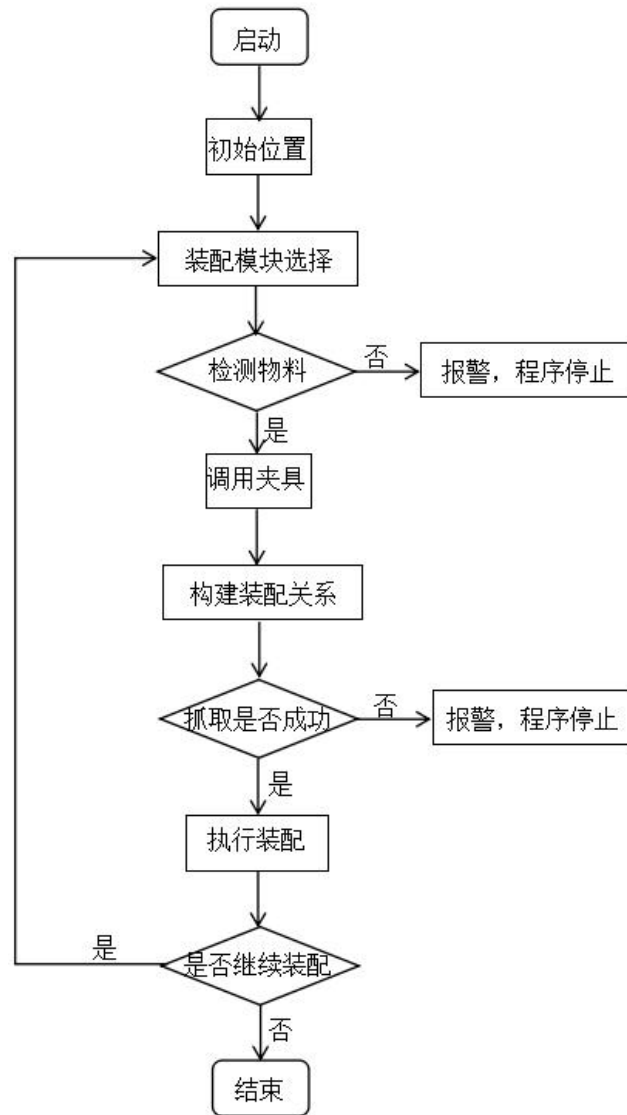


图 4-11 机器人程序设计图

### 4.3 HMI 人机界面设计

为了方便技术人员更好的操作设备和查看实时的设备运行情况,另外又在集成系统中增加了 HMI 人机交互界面,该界面通过和 PLC 组态连接,获取 PLC 实时变量通讯数据,在 HMI 设计功能时添加对应的 PLC 变量,就可以监控和控制系统,包括系统的启停操作、设备状态、工艺步骤等信息,它可以显示出装配平台中工件坐标的实时精确位置。对于维护人员来说,报警故障信息直接显示在 HMI 屏幕上,开展检修工作,相比每次连接电脑,省下许多宝贵时间,如下图 4-12 结合本课题界面设计。



图 4-12 人机交互界面设计图

#### 4.4 装配系统联合调试

系统联合调试最主要的就是各个硬件可以通讯上，这样才能完成后面整体联合调试，包括机器人手动装配、机器人自动装配、启动视觉相机拍摄、PLC 通讯状态。

在机器人手动状态下单步运行装配没有问题，可以将手动模式调成自动模式和 PLC、相机一起联合调试，调试步骤如下：

- (1) 检查急停开关按钮并可以立即停止机器人工作或切断电源。
- (2) 前期自动运行时，机器人速度设置为较低，避免发生剧烈碰撞。
- (3) 在人机界面设置通讯窗口，有利于查看硬件之间通讯情况，实现通讯后，界面窗口会实时显示信息。
- (4) 打开 PLC 监控状态和相机拍照显示状态，方便运行出错时对故障进行诊断排查。
- (5) 在自动运行过程中，手必须放在急停按钮上，如果发生故障，按下急停同时要确认故障点和状态，方便进行系统排查。

调试时期遇到的几个问题如下：

- (1) 相机上电后连接后，无法下载编译好的脚本程序，显示文件太大。

解决过程和方法：首先查看自己编译的脚本和学习的图像，发现文件并不大，接着排查通讯方式发现选择的是连续触发拍照造成文件过大，改成外部触发即可避免。

- (2) 机器人机械手臂抓取物料后姿态倾斜。

解决过程和方法：自己多次示教机器人坐标位置，还是出现类似问题，通过网上查询和老师的帮助下，重新调教了机器人零点坐标，运行后机器人抓取姿态没有出现倾斜现象。

## 第五章 总结与展望

该题结合“中国制造 2025”提出的新一代信息技术和智能工厂变革，对于工业自动化集成方向控制方向意义重大。本文针对生产线上工业机器人、PLC、智能相机、HMI 开发出了面向生产线智能装配单元系统，本文所完成的成果和总结如下：

(1) 对研究本课题论文背景意义进行了阐述，回顾了传统自动装配到机器人自动装配技术的国内外现状。

(2) 详细介绍了工业机器人装配平台整体构造，并设计网络结构搭建装配系统网络，按照电动执行器工艺分析提出基于工业机器人装配方案的实施。

(3) 对装配单元设计的主要硬件进行介绍，对 ABB 机器人、西门子 PLC、信捷智能相机进行了深度剖析，另外设计了机器人和 PLC 的线路连接，分析了西门子 PLC 高低电平接线的方法。

(4) 阐述了自动装配系统关键软件和硬件通讯过程，设计各模块程序实现流程，下位控制系统 ABB 机器人控制的 RAPID 语言编程、西门子 PLC 控制的模块化语言编程，上位控制系统智能相机 X-SIGHT 控制的 C 语言编程，通过联合调试，验证机器人电动执行器自动装配系统的可行性。

同时，这段时间对本系统的研究不断加深，装配单元系统只是自动化生产线的一部分，未来将结合集成控制系统进行以下方面的论证研究：

(1) 对该单元系统进行扩展，如供料单元、瑕疵检测单元、成品包装单元，下一步将会研究这些单元的可行性。

(2) 对系统的安全性将会再提高，机器人运动范围周围将添加光栅传感器，自动运行时，异物进入机器人范围，将会停止工作。

(3) 该系统可以结合 5G 技术加入云端，通过手机实时查看装配进度，使系统更加智能。

## 参考文献

- [1] 韩博禹. 浅谈工业机器人的发展现状与趋势[J]. 科技世界, 2017, 34(11): 47-48。
- [2] 杜莎. 盘点知名汽车企业的智能工厂[J]. 汽车与配件, 2018, (20): 26-31。
- [3] 马阳. 工业机器人在我国的应用现状和发展趋势分析[J]. 南方农机, 2020, 51(17): 194-196。
- [4] 潘慧. 华数机器人: 自主创新打造国产机器人核心竞争力[J]. 广东科技, 2020, 29(08): 22-24。
- [5] Sorayya Kazemi ;Hamed Kharrati. Visual Processing and Classification of items on Moving Conveyor with Pick and Place Robot using PLC[J]. Intelligent Industrial Systems, 2017, (03): 15-21。
- [6] 喻鑫. 机械装配过程自动化浅析[J]. 中国电子商务, 2012, 10(01): 89-89。
- [7] 陆正茂. 基于工业机器人的自动装配系统研究[D]. 西安电子科技大学, 2018。
- [8] 李晟莅. 工程机械自动化装配工艺发展研究[J]. 中国设备工程, 2020, (04): 163-164。
- [9] Maurizio Faccio;Matteo Bottin ;Giulio Rosati . Collaborative and traditional robotic assembly: a comparison model[J], The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, (102): 1355-1372。
- [10] 郝任义. 工业自动化生产线中机器人及 PLC 的集成控制研究[D]. 燕山大学, 2018。
- [11] 陈枫. 西门子 S7 系统在能源管理中的应用[D]. 北京工业大学, 2018。
- [12] 刘兆亮. 基于 PLC 控制的柔性生产线中自动分拣系统的研究[D]. 湖北工业大学, 2017。
- [13] 甘沐阳. 基于视觉装配的机械手运动位置研究[D]. 武汉工程大学, 2018。
- [14] 魏芳; 关大力; 饶媛洁. 基于 OPC 技术的机器人数据采集与实时监控[J]. 航空精密制造技术, 2020, 56(01): 24-26。
- [15] Zhongxiang Zhou;Rong Xiong;Yue Wang;Jiafan Zhang . Advanced Robot Programming: a Review[J]. Current Robotics Reports, 2020, (1): 251-258

## 致谢

两年前，专科刚毕业，我对大学本科充满了向往和挑战，道别了以前的亲朋好友，来到天津中德应用技术大学开启了我的新征程。这次继续深造的机会，感觉自己很幸运，也特别珍惜。尤其是这里有着独特的气息，自由出入的南北校门，和谐的校园环境以及安静的图书馆，这一切都让我流连忘返。

日历马上要跳到 6 月，宣示着我们即将挥手向学校告别，在这最后的时光里，首先感谢我的导师，从指导我参加中国机器人大赛到指导写论文，这段时间对我投入了超多的心血和精力。同时还要感谢理论授课的老师，大学两年时光教会了我许多学不到的知识。还有我最喜欢的 H4-B134 宿舍的室友们，与你们一起两年生活非常充实，感谢你们同窗相伴，祝你们在美好未来振翅高飞。

两年大学时间过得飞快，马上就要离开了，反而心中充满不舍，有好多事情还没来得及做好，有过无数次的坚持和努力，但每天晚上还是会焦虑，迷茫，因为害怕自己两年深造出来还是碌碌无为，又始终相信自己是一个幸运的人。